

不同比例“鱼腥草-薄荷-空心菜”浮床对吉富罗非鱼养殖池塘环境的影响

郑尧, 袁丽萍, 胡庚东, 孟顺龙, 范立民, 宋超, 李丹丹, 张聪, 陈家长*

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部水产品质量安全环境因子风险评估实验室(无锡), 江苏无锡 214081)

摘要 [目的]采用“鱼腥草-薄荷-空心菜”三明治模型浮床对吉富罗非鱼养殖池塘开展水质净化研究。[方法]2017年6—10月对鱼腥草、薄荷、空心菜进行三明治模型不同配比(植物种植比例为1:1:1, 占比10%和20%)研究, 测定 COD_{Mn} 、 Chla 、 TN 、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、 NO_2^--N 、 TP 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 等水质指标和底质 TN 、 TP 指标。[结果]2017年7—9月三明治塘 COD_{Mn} 、 Chla 、 TN 、 NO_2^--N 、 TP 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 显著下降, 对磷的去除效果较好, 种植初期和后期容易造成水质 TN 、 Chla 等指标上升。[结论]构建三明治浮床时, 10%浮床种植面积的净水效果较20%浮床种植面积好。

关键词 水质; 底泥; 池塘; 原位修复

中图分类号 S964.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)01-0080-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.01.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Effects on Floating Bed with Different Proportions of *Houttuynia cordata* Thunb., *Mentha haplocalyx* Briq. and *Ipomoea aquatica* on Culture Pond Environment of GIFT Tilapia**

ZHENG Yao, QIU Li-ping, HU Geng-dong et al (Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Aquatic Products on Environmental Factors (Wuxi), Ministry of Agriculture, Wuxi, Jiangsu 214081)

Abstract [Objective] To conduct water quality purification study on GIFT tilapia culture pond with “*H. cordata*, *M. haplocalyx* and *I. aquatica*” sandwich floating bed. [Method] *H. cordata*, *M. haplocalyx* and *I. aquatica* were used to make sandwich model with different proportions (plant planting ratio was 1:1:1, taking 10% and 20% respectively). COD_{Mn} , Chla , TN , NH_4^+-N , NO_3^--N , NO_2^--N , TP , $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ and other water quality indices, TN and TP in the sediment were determined. [Result] COD_{Mn} , Chla , TN , NO_2^--N , TP , $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ in the sandwich ponds significantly decreased from July to September of 2017, and the removal effect of phosphorus was much better. The water quality of TN and Chla in this sandwich pond model increased during the early and late planting periods. [Conclusion] When building a sandwich floating bed, the water purification effect of pond with 10% planting area of floating bed was better than pond with 20% planting area of floating bed.

Key words Water quality; Sediment; Pond; *In situ* remediation

中草药能够调控池塘水质^[1-3], 改善池塘微生物群落结构^[4], 可作为抗生素的有效替代品, 增强鱼类免疫能力与抗病能力^[5-7]。迄今为止, 筛选出的适合池塘种植的中草药品种有鱼腥草、薄荷、虎杖、水芹、大蒜、薏苡、紫苏、黄花水龙、夏枯草、菖蒲、狼把草等。笔者所在课题组采用空心菜对池塘水质进行净化^[8-9], 近期水质监测结果表明中草药对池塘水/底质的净化效果与经济蔬菜(如空心菜等)相类似。笔者改变水质净化方式, 采用“空心菜-水芹”、“中草药-水芹”轮作方式, 实现全年对水质进行净化^[10], 针对不同植物在不同季节对不同养殖品种池塘水质的净化效果, 2016年采用5%“鱼腥草-空心菜-鱼腥草”模型进行试验, 结果表明此种三明治模型能显著降低吉富罗非鱼养殖池塘水体中 TOC 、 COD_{Mn} 、 TN 、 TP 指标和底泥中 TN 、 TP 指标^[11], 但在配比上需要进一步研究。

前期研究结果表明鱼腥草(*Houttuynia cordata* Thunb)和空心菜能显著降低池塘中 TN 、 NO_3^--N 、 NH_4^+-N 、 TP 、 COD_{Mn} 含量。薄荷(*Mentha haplocalyx* Briq.)能显著降低水中 TN 、 NO_3^--N 、 NH_4^+-N 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 等水质指标。笔者利用鱼腥草、

薄荷、空心菜进行三明治模型不同配比研究, 进一步优化三明治模型参数, 以期对池塘水质净化提供基础性数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计 试验于2017年6—10月在淡水渔业研究中心宜兴岷亭基地进行, 选择吉富罗非鱼养殖池塘9口[对照组、种植面积分别占水面面积10%(试验组I)和20%的三明治试验组(试验组II)各3口, 每口0.13 hm^2 , 水深2 m], 5月初放养鱼苗45 000尾/ hm^2 , 搭配少量鳊鱼225尾/ hm^2 , 鲢鱼150尾/ hm^2 。饲料投喂量占鱼体质量的3%, 每天投喂3次, 以30 min吃完为标准, 后期投喂量根据鱼体大小做适量调整, 试验塘与对照塘养殖期间管理和病害防治一致。

浮床浮体部分为PVC材料($d=50$ mm)制成的圆管(长2 m), 围成面积4 m^2 的正方形, 中间部分用一层网孔(直径30 mm)的网片, 选用鱼腥草、薄荷和空心菜苗置于网片上(宽20 cm, 长30 cm), 再用孔(直径10 mm)的一层致密网片, 防止鱼啃食幼根。

1.2 采样和水/底质参数测定 采样时间固定为每月18日上午10:00左右。通过采集对照塘(对照组)、10%(试验组I)和20%(试验组II)三明治浮床种植塘水样500 mL(五点法), 按《水和废水监测分析方法》测量 COD_{Mn} (高锰酸钾-草酸钠滴定法)、 Chla (丙酮提取法和分光光度计法)、 TN (碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度计法)、 NH_4^+-N (纳氏试剂光度法)、 NO_3^--N (酚二磺酸光度法)、 NO_2^--N (N-(1-萘基)-乙

基金项目 国家科技支撑计划项目(2015BAD13B03); 现代农业产业体系专项养殖水环境控制岗位科学家资助项目(CARS-46)。

作者简介 郑尧(1986—), 男, 安徽太湖人, 助理研究员, 博士, 从事渔业生态环境保护研究。*通信作者, 研究员, 硕士, 硕士生导师, 从事渔业环境保护研究。

收稿日期 2018-08-22

二胺光度法)、TP(硝酸-硫酸消解法)、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (钼酸铵法)等水质指标。同时,采集底泥样本 100 g,对底泥样本的 TN、TP 含量进行分析,TN 含量的测定采用凯氏定氮法;TP 含量的测定采用高氯酸-硫酸消化法。

1.3 数据统计与分析 试验结果均以“平均值±标准差”表示,使用 SPSS 11.0 统计软件进行 ANOVA 分析(LSD 法检验), $P<0.05$ 差异显著。

2 结果与分析

由表 1 可知,2017 年 6 月试验组 I 和 II COD_{Mn} 、Chla、TN、TP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 显著上升,试验组 II $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$

-N 显著上升。7 月,试验组 I 和 II COD_{Mn} 、Chla、TP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 显著下降,试验组 II TN 含量和试验组 I $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 显著含量下降。8 月,试验组 I 和 II COD_{Mn} 、Chla、TP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 显著下降,试验组 II TN 含量和试验组 I $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 显著下降;试验组 I Chla、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、TP 显著下降,试验组 II TP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 显著下降。9 月,所有检测指标均显著下降,试验组 I Chla 显著低于试验组 II,但试验组 I TN、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TP 显著高于试验组 II。10 月,Chla、TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 显著上升,试验组 II $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 显著上升,试验组 II COD_{Mn} 显著下降,试验组 I 和 II $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、TP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 显著下降。

表 1 2017 年 6—10 月份各塘水质指标总体情况

Table 1 The overall water index situations of sandwich pond from June to October of 2017										mg/L
月份 Month	组别 Group	COD_{Mn}	Chla	TN	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{NO}_2^-\text{-N}$	TP	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	
6	对照组	9.14±0.20 b	105.73±10.24 b	2.44±0.21 b	0.22±0.02 b	0.18±0.02 b	0.00±0.00 b	0.16±0.01 c	0.09±0.01 b	
	试验组 I	11.71±0.49 a	223.63±13.28 a	3.23±0.30 a	0.28±0.03 b	0.21±0.02 b	0.00±0.00 b	0.40±0.02 a	0.17±0.02 a	
	试验组 II	10.24±0.31 a	244.29±16.78 a	3.59±0.14 a	0.42±0.02 a	0.30±0.02 a	0.03±0.00 a	0.29±0.02 b	0.13±0.01 a	
7	对照组	18.36±0.25 a	661.96±34.21 a	4.98±0.25 a	1.34±0.02 a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.34±0.01 a	0.03±0.00 a	
	试验组 I	14.49±0.14 b	282.76±13.47 b	4.12±0.18 a	0.86±0.01 b	0.00±0.00	0.00±0.00	0.12±0.01 b	0.00±0.00 b	
	试验组 II	9.86±0.08 c	264.19±15.29 b	2.33±0.10 b	1.25±0.03 a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.07±0.00 c	0.00±0.00 b	
8	对照组	16.34±0.12	311.54±17.12 a	6.13±0.24	4.24±0.05 a	1.47±0.21 b	0.17±0.03 a	0.47±0.04 a	0.24±0.02 a	
	试验组 I	16.13±0.14	193.44±10.24 b	5.00±0.16	2.84±0.02 b	1.88±0.05 a	0.03±0.00 b	0.33±0.03 b	0.20±0.01 a	
	试验组 II	16.97±0.13	352.80±16.87 a	6.41±0.21	4.61±0.03 a	1.06±0.03 b	0.24±0.02 a	0.31±0.02 b	0.12±0.01 b	
9	对照组	17.52±0.17 a	254.10±14.32 a	6.01±0.17 a	4.12±0.04 a	1.03±0.04 a	0.10±0.01 a	0.36±0.02 a	0.15±0.01 a	
	试验组 I	14.21±0.19 b	156.17±12.41 c	5.43±0.25 b	2.56±0.02 b	0.85±0.03 b	0.00±0.00 b	0.21±0.02 b	0.05±0.01 b	
	试验组 II	13.28±0.27 b	198.69±10.21 b	4.95±0.14 c	2.11±0.02 b	0.67±0.02 c	0.00±0.00 b	0.14±0.01 c	0.06±0.02 b	
10	对照组	19.37±0.33 a	70.08±6.41 c	6.55±0.10 b	2.69±0.02 b	0.00±0.00 b	0.49±0.04 a	0.66±0.03 a	0.12±0.01 a	
	试验组 I	19.37±0.45 a	163.76±10.36 a	7.49±0.26 a	4.30±0.03 a	0.00±0.00 b	0.26±0.02 b	0.26±0.02 c	0.00±0.00 b	
	试验组 II	15.95±0.39 b	105.33±9.58 b	8.17±0.32 a	4.22±0.03 a	0.85±0.04 a	0.09±0.01 c	0.38±0.03 b	0.00±0.00 b	

注:同一月份同一指标各组间标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)
Note: Different small letters among different groups for the same index in the same month indicated significant differences ($P<0.05$)

对三明治塘(试验组 I 和 II)底泥 TN、TP 进行分析,结果表明 2017 年 6—7 月试验组 II、8—9 月试验组 I TN 含量显著下降,但试验组 II TN 含量显著上升(图 1);2017 年 6—7 月试验组 I 和 II TP 含量显著下降(图 2),但 8、10 月试验组 II TP 含量显著上升。三明治塘总重、成活率及平均体重显著高于对照组,且饵料系数降低(表 2)。

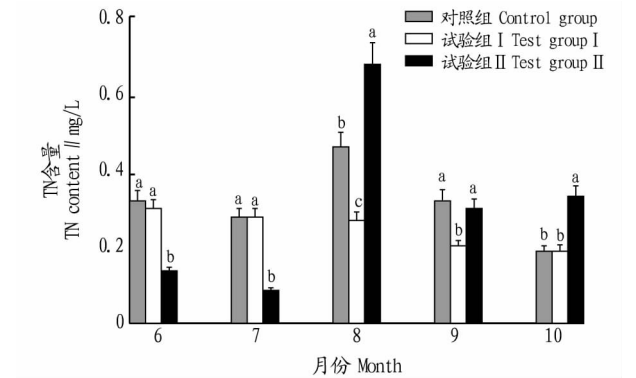


图 1 2017 年 6—10 月三明治塘底泥 TN 含量的变化
Fig. 1 The sediment TN content changes of sandwich pond from June to October of 2017

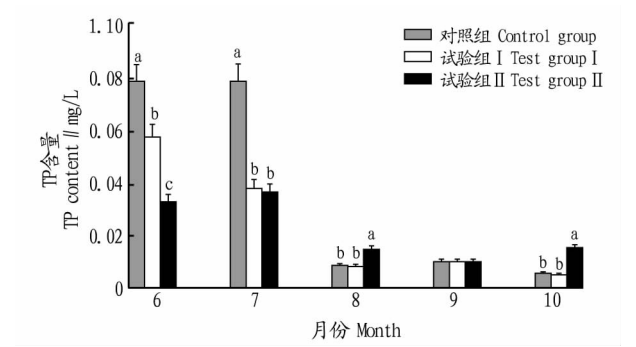


图 2 2017 年 6—10 月三明治塘底泥 TP 含量的变化
Fig. 2 The sediment TP content of sandwich pond from June to October of 2017

表 2 吉富罗非鱼的收获情况

组别 Group	收获总重 Total weight of harvest/kg/hm ²	成活率 Survival rate/%	饵料系数 Feed coefficient	体重 Body weight g/尾
对照组 Control group	21 705	95.6	1.356	605
试验组 I Test group I	23 055	93.1	1.243	660
试验组 II Test group II	23 265	99.2	1.270	625

3 讨论

从水质和底质指标来看,种植初期和后期容易造成水质 TN、Chla、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 等指标上升,2017 年 8、10 月份 20% 三明治种植塘(试验组 II)底质 TN、TP 含量有所上升。前期研究表明 8% 空心菜、5% 鱼腥草适合进行推广^[3,5-6],2016 年采用 5% 三明治塘(鱼腥草-空心菜-鱼腥草)对罗非鱼养殖池塘进行水/底质净化,结果发现其能显著降低吉富罗非鱼养殖池塘水体中 TOC、 COD_{Mn} 、TN、TP 指标和底泥中 TN、TP 指标。该试验结果表明,养殖前期因为中草药植物的投入使得部分水质指标(如 TN、Chla)上升,10 月因中草药植物枯萎死亡形成水体营养物质而导致水质和底质所测指标上升(20% 三明治 TN、TP)。该试验结果表明,当构建三明治浮床时,试验组 I 的净水效果较试验组 II 好。

研究表明,空心菜^[12]、水花生^[13]、苦草、水芹^[14]对总磷的去除效果较好,植物根系附近附着大量微生物,微生物降解作用对水体氮元素的去除率在 60% 以上^[15],根系释放氧气,有利于敞水区好氧菌(氨化细菌和硝化细菌)和浮床区反硝化细菌和氨化细菌的生存^[16],在浮床下悬挂菌种强化填料(如异养硝化-好氧反硝化菌可去除 NO_3^--N)可提高生态浮床的脱氮率^[17]。河蚌^[18]和河蚬^[19]也能起到水质净化的效果。如果需要对三明治模型要素进行进一步优化,可以在冬季选择常青植物(薄荷、水芹、黄菖蒲、千屈菜等),在中层放置河蚌、河蚬,浮床下面悬挂弹性填料,做到技术集成并在合适区域进行示范、推广。

4 结论

2017 年 7—9 月三明治塘 COD_{Mn} 、Chla、TN、 NO_2^--N 、TP、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 显著下降,对磷的去除效果较好,种植初期和后期易造成水质 TN、Chla 等指标上升。

(上接第 63 页)

法具有一致性,采用毒性系数来反映重金属污染权重更加科学合理。

结合该制造企业历史来看,由于制造企业从事铅锌冶炼长达数十年,在多年生产中,土壤中重金属元素不断累积,已造成当前严重污染局面,评价结果也印证了其重金属污染的严重程度。根据评价结果,因地制宜,采用高分子材料吸附固定或重新收集再制造等不同治理路线,有针对性地开展重金属土壤治理,以达到环境标准要求,提升土地利用价值,建立良好的生态环境。

参考文献

- [1] 陈凤,董泽琴,王程程,等. 锌冶炼区耕地土壤和农作物重金属污染状况及风险评价[J]. 环境科学,2017,38(10):4360-4369.
- [2] 贺强,李慧媛,张永清. 我国近十年来土壤重金属污染的相关研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版),2017,31(2):83-87.
- [3] 成鹏飞. 践行绿色发展理念的五个抓手[N]. 经济日报,2017-12-10(008).
- [4] 陈洁,施维林,张一梅,等. 电镀厂遗留场地污染分析及健康风险空间分布评价[J]. 环境工程,2018,36(4):153-159.
- [5] 李秉辉,李海燕. 海绵公园土壤重金属现状调查与评价[J]. 环境工程,2016,34(S1):1016-1020.

参考文献

- [1] 郑尧,赵志祥,祁旭文,等. 种植虎杖对吉富罗非鱼养殖水质和底质的影响[J]. 安徽农业科学,2017,45(15):116-119.
- [2] 郑尧,赵志祥,祁旭文,等. 鱼腥草种植对吉富罗非鱼养殖池塘污染物的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(32):140-144.
- [3] 郑尧,祁旭文,范立民,等. 浮床栽培鱼腥草对吉富罗非鱼养殖池塘水质的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(14):26-31.
- [4] 史丽娜,王小丽,刘志刚,等. 罗非鱼-鱼腥草共生养殖池塘沉积物菌群结构与功能特征[J]. 中国农学通报,2015,31(14):64-73.
- [5] 郑尧,祁旭文,裴丽萍,等. 浮床栽培鱼腥草对吉富罗非鱼胆汁液中八种免疫因子的影响[J]. 农业环境科学学报,2016,35(9):1680-1685.
- [6] 郑尧,胡庚东,裴丽萍,等. 浮床栽培鱼腥草对吉富罗非鱼血清免疫因子的影响[J]. 生态与农村环境学报,2017,33(10):950-954.
- [7] 郑尧,陈家长. 水产动物中草药成分的应用基础[J]. 中国农学通报,2018,34(8):123-128.
- [8] 祁旭文,陈家长. 浮床无土栽培植物控制池塘富营养化水质[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(3):29-33.
- [9] 陈家长,孟顺龙,胡庚东,等. 空心菜浮床栽培对集约化养殖鱼塘水质的影响[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(2):155-159.
- [10] 郑尧,陈家长,胡庚东,等. “空心菜-水芹”轮作对养殖池塘水质和底质环境的影响[J]. 上海海洋大学学报,2018,27(1):98-105.
- [11] 郑尧,赵志祥,陈家长,等. “鱼腥草-空心菜-鱼腥草”三明治模型对吉富罗非鱼养殖池塘水质和底质的影响[J]. 南方农业学报,2017,48(S1):155-158.
- [12] 金树权,周金波,朱晓丽,等. 10 种水生植物的氮磷吸收和水质净化能力比较研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(8):1571-1575.
- [13] 杨雁,李永梅,王自林,等. 漂浮栽培水生植物对入滇河流污水中磷的去除效果研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(9):1763-1769.
- [14] 向文英,彭颖. 重庆冬季水芹浮床对富营养化水体的修复[J]. 环境工程学报,2015,9(11):5393-5398.
- [15] 王超,王永泉,王沛芳,等. 生态浮床净化机理与效果研究进展[J]. 安全与环境学报,2014,14(2):112-116.
- [16] 吴伟,胡庚东,金兰仙,等. 浮床植物系统对池塘水体微生物的动态影响[J]. 中国环境科学,2008,28(9):791-795.
- [17] 汤茵琪,李阳,常素云,等. 好氧反硝化菌强化生态浮床对水体氮与有机物净化机理[J]. 生态学杂志,2017,36(2):569-576.
- [18] 张根芳,张文府,梅凯先. 河蚌的净水作用和淡水珍珠产业的碳汇贡献[J]. 科学养鱼,2017(10):54-55.
- [19] 朱小龙. 河蚬对富营养水体水质改善作用及生态学意义[D]. 无锡:江南大学,2015.
- [6] 郭绍英,林浩,谢好,等. 基于改进灰色聚类法的矿区土壤重金属污染评价[J]. 环境工程,2017,35(10):146-150.
- [7] 齐雁冰,楚万林,蒲洁,等. 陕北某化工企业周围污灌区土壤-作物系统重金属累积特征及评价[J]. 环境科学,2015,36(4):1453-1460.
- [8] 陆泗进,王业耀,何立环. 会泽某铅锌矿周边农田土壤重金属生态风险评价[J]. 生态环境学报,2014,23(11):1832-1838.
- [9] 黄哲,曲世华,白岚,等. 包头城区土壤重金属空间分布特征及污染评价[J]. 环境工程,2017,35(5):149-153.
- [10] 陕永杰,张磊. 塔儿山铁矿区土壤重金属污染评价及来源分析[J]. 环境工程,2016,34(11):141-144.
- [11] 匡晓亮,彭澎,张坤,等. 湘江下游沉积物重金属污染模糊评价[J]. 环境化学,2016,35(4):800-809.
- [12] 潘琼,潘峰. 湖南省治矿城市土壤重金属污染现状及评估[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):405-410.
- [13] 高瑞英. 土壤重金属污染环境风险评价方法研究进展[J]. 科技管理研究,2012,32(8):45-50.
- [14] FAIRBROTHER A, WENSTEL R, SAPPINGTON K, et al. Framework for metals risk assessment[J]. Ecotoxicology and environmental safety, 2007, 68(2):145-227.
- [15] SWAINE D J. Why trace elements are important[J]. Fuel processing technology, 2000,65/66:21-23.
- [16] 徐争启,倪师军,虞先国,等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术,2008,31(2):112-115.
- [17] 湖南省环保厅,湖南省质量技术监督局. 重金属污染场地土壤修复标准:DB43/T 1125—2016[S]. 湖南省环保厅,湖南省质量技术监督局,2016.